

УДК 621.791:614.8

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ
НА УРОВЕНЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СВАРЩИКА**

д-р техн. наук О.Г. ЛЕВЧЕНКО, О.Н. ГОНЧАРОВА, В.К. ЛЕВЧУК
(Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев);
канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН
(Полоцкий государственный университет)

Исследовано влияние режима контактной точечной сварки на уровень магнитного поля в рабочей зоне сварщика. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния параметров режимов сварки, выбираемых технологами, и расстояния от токоведущих элементов сварочного контура на показатель превышения уровня магнитного поля согласно современным медицинским требованиям. Предложены рекомендации по защите сварщиков от магнитного поля для разработчиков машин контактной электросварки, технологов и пользователей данных машин. Приведены результаты исследований защитных свойств экранирующих материалов из магнитомягких лент из аморфного сплава на основе кобальта (CoFeCrSiB), в частности фартук сварщика для защиты от электромагнитных излучений.

В настоящее время контактная электросварка нашла широкое применение в отдельных отраслях промышленности многих стран. Она является одним из ведущих технологических процессов современного производства. Это привело к созданию большого парка электрооборудования и машин различных типов и назначения мощностью до сотен киловольт-ампер. В основном этот парк составляют машины переменного тока частотой 50 Гц. При эксплуатации этих машин генерируются магнитные поля (МП) частотой 50 Гц, значительной напряженности, превышающей регламентируемую старыми санитарными нормами [1] величину в несколько раз. Магнитные поля такой интенсивности негативно влияют на здоровье обслуживающего персонала, обуславливают определенные негативные функциональные изменения в организме, воздействуя на его сердечнососудистую, нервную, мочеполовую, эндокринную и другие системы. В связи с этим необходимы контроль электромагнитной обстановки на рабочих местах сварщиков и обеспечение безопасности условий их труда.

В последнее время в связи с введением в действие новых нормативов [2], регламентирующих условия безопасности при работе с источниками электромагнитных полей на основании современных медицинских исследований, проблема защиты сварщиков еще более усугубилась.

Анализ технологий контактной электросварки показывает, что в рабочей зоне создаются импульсные МП. Основным источником данных полей на рабочих местах сварщиков являются не полностью экранированный корпусом машины сварочный трансформатор и, как правило, не экранированные силовые элементы сварочного контура (электроды, свечи, консоли, шины), а также токоведущие кабели и свариваемые изделия сложной формы. Краткий анализ МП, образующихся при контактной электросварке в различных частотных диапазонах, и общая методика определения их уровней описаны в работе [3].

Цель данного исследования – определение влияния режима контактной точечной сварки на уровень магнитного поля в рабочей зоне сварщика.

При проведении экспериментов возможные режимы контактной точечной сварки моделировались на серийной точечной машине МТ-2202 с учетом следующих соображений: во-первых, возможные режимы сварки определяются конструкцией сварочного оборудования и аппаратурой их регулирования. Для современного оборудования контактной сварки они достаточно широки и предусматривают такие регулирования тепловложения в свариваемое соединение, как: переключение ступеней мощности сварочного трансформатора с тиристорным контактором; изменение длительности протекания импульсов синусоидального однофазного тока частотой 50 Гц в одной пачке; сварка (и термообработка свариваемого соединения в электродах сварочной машины) несколькими (до трех) пачками синусоидальных однофазных импульсов с регулированием количества импульсов в пачках и времени пауз между пачками; фазовое регулирование нагрева (сварочного тока) в каждой пачке ($\alpha_{\phi} = 20 \dots 180^\circ$); модуляция передних и задних фронтов пачек импульсов, т.е. амплитуд определенного числа импульсов от нулевого до максимального значений; во-вторых, поскольку аппаратура управления сварочным циклом предусматривает (разрешает) эти регулировки, технологи-сварщики используют их при работе не всегда обоснованно и без учета требований санитарных норм [2].

Проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона исследования показывают, что для контактной электросварки излучения в диапазоне частот 50...1000 Гц являются определяющим санитарно-гигиеническим фактором при оценке уровней МП. Наименее опасным режимом сварки, спектр МП которого содержит наименьшее количество существенно значимых гармонических составляющих, выше основной гармоники 50 Гц,

главным образом определяющих энергетическую нагрузку МП, является режим сварки одной пачкой синусоидальных полнофазных импульсов сварочного тока, причем как можно большей длительностью и меньшей амплитудой (так называемый «мягкий» режим сварки). Установлено также, что для «мягкого» режима сварки с учетом санитарного аспекта можно принять количество синусоидальных импульсов (периодов) не менее 15, т.е. время сварки одной точки должно составлять $t_{св} \geq 15 \cdot 0,02 \geq 0,3$ с. Этот режим сварки удобно было бы принять за «контрольный», с которым можно сравнивать любые другие возможные режимы, получаемые в результате гигиенической оценки, и производить сравнительный анализ.

На практике производственники отдают предпочтение более производительным режимам. Поэтому в качестве контрольного режима был принят «жесткий» режим сварки образцов (1,5 + 1,5) мм из углеродистой стали одной пачкой 10 синусоидальных полнофазных импульсов сварочного тока ($I_2 = 12$ кА; $U = 0,69$ В) частотой 50 Гц на первой (минимальной) ступени регулирования мощности трансформатора при имеющихся четырех. При переходе от «мягкого» режима к «жесткому» напряженность МП в упомянутом выше диапазоне частот увеличивается примерно в 2 раза.

Для объективной оценки уровней МП во всех имеющихся диапазонах частот предложен новый обобщенный показатель – показатель превышения уровня магнитного поля (ППУ МП):

$$\text{ППУ МП} = \sum_n \frac{H_n^2}{H_{нПДУ}^2}, \quad (1)$$

где H_n – фактическая напряженность МП по диапазонам частот (n), А/м; $H_{нПДУ}$ – предельно допустимые уровни МП по диапазонам частот (n), А/м.

На рисунке 1 в качестве примера представлены характерные, экспериментально полученные зависимости ППУ МП 5-ти часовой экспозиции перед точечной машиной средней мощности от расстояния до ее электродов для различных видов сигналов магнитного поля.

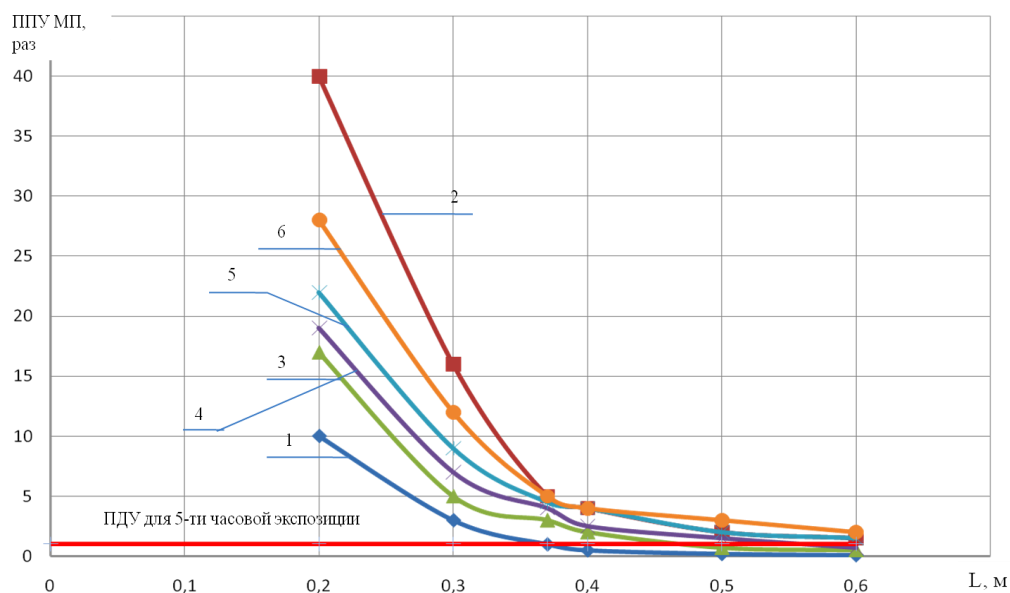


Рис. 1. Зависимость показателя превышения уровней магнитного поля от расстояния до электродов машины точечной сварки МТ-2202 и параметров режима сварки в рабочей зоне сварщика (перед машиной) на высоте $h = 1000$ мм (в плоскости сварочного соединения) от пола:
 1 – для одной пачки из 10 синусоидальных полнофазных импульсов сварочного тока частотой 50 Гц с модуляцией переднего и заднего фронтов (по одному полупериоду), первая (min) ступень трансформатора;
 2 – то же, максимальная мощность; 3 – для угла фазового регулирования нагрева $\alpha = 45^\circ$ (импульс по п. 1);
 4 – для одной пачки 10 импульсов с 50 % модуляцией переднего фронта пачки, т.е. 5-ти первых импульсов от нулевого до амплитудного значения; 5 – для двух пачек по 5 импульсов с паузой между импульсами в 2 периода;
 6 – для двух пачек по 5 импульсов с 100 % модуляцией передних фронтов пачек с паузой между импульсами в 2 периода

На рисунке 2 представлено ориентировочное пространственное распределение ППУ магнитного поля возле сварочной машины при сварке на «жестком» режиме одной пачкой из 10 синусоидальных полнофазных импульсов сварочного тока частотой 50 Гц с модуляцией переднего и заднего фронтов (по одному полупериоду) на первой ступени трансформатора. Полученные данные свидетельствуют о существенном превышении уровней магнитных излучений во фронтальной и о более значительном – в профильной области рабочего пространства сварщика.

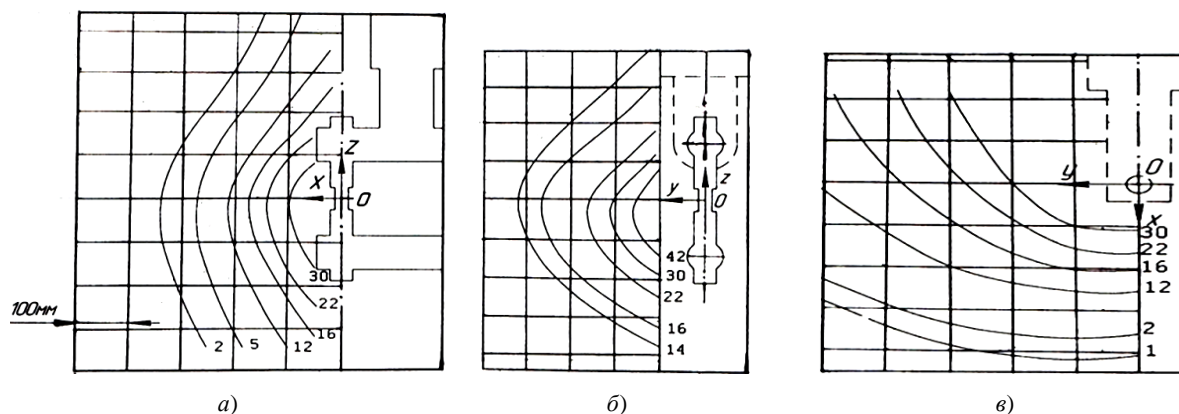


Рис. 2. Распределение ППУ магнитных полей (для 5-ти часовой экспозиции) в плоскостях XOZ (а); YOZ (б); XOY (в)

Из данных рисунка 1 видно, что любое предусмотренное аппаратурой регулирование параметров режима сварки (отличных от контрольного режима) приводит к увеличению ППУ МП в рабочей зоне. Наибольшая величина ППУ МП сосредоточена перед сварочной машиной в горизонтальной плоскости XOY , проходящей через свариваемую точку, в данном случае на высоте 1 м от неферромагнитного пола. Аппроксимируя данные графиков, представленных на рисунке 2, на область головы и ног сварщика, можно показать, что ППУ МП в этих областях ориентировочно в 4...6 раз ниже, чем на уровне пояса. Расчет ППУ МП сбоку от сварочного контура в вертикальной плоскости ZOY показывает (рис. 2, б), что его пространственное распределение в этой области аналогично распределению перед машиной, но в горизонтальной плоскости в 2...2,5 раза выше, а в области головы и ног сварщика остается примерно тем же.

Анализ полученных данных показывает, что надежное обеспечение максимальной эффективности защиты сварщика возможно только защитой расстоянием, т.е. полной автоматизацией процесса и удалением сварщика из зоны действия МП на расстояние не менее 1,0 м, что в реальных условиях производства вряд ли возможно. Поэтому для разрешения создавшейся ситуации и возможности работы сварщика на контактных точечных машинах во фронтальной области, в так называемом «ручном» режиме, на дистанциях $L \geq 150...200$ мм необходимая эффективность защиты \mathcal{E}_3 от магнитных излучений должна составлять не менее 60...40 раз (см. рис. 1). Под необходимой эффективностью защиты понимают отношение напряженности МП (максимальной величины) на рабочем месте H_m к предельно допустимой величине напряженности МП H_p , т.е.

$$\mathcal{E}_3 = H_m / H_p. \quad (2)$$

При расчете \mathcal{E}_3 используют величину H_m , измеряемую на рабочем месте сварщика.

Разработка средств защиты сварщиков от электромагнитного облучения при обслуживании машин точечной контактной сварки в «ручном» режиме с обеспечением \mathcal{E}_3 порядка 100 раз, по-видимому, должна предусматривать использование всех возможных способов снижения магнитного излучения до регламентируемого уровня [2], а именно:

- защиту расстоянием (до $L_{\min} \geq 250...300$ мм);
- защиту временем;
- оптимизацию режимов сварки, использование новых видов сварки с более приемлемыми физическими параметрами электрического тока с санитарной точки зрения и новыми принципами регулирования тепловложения в сварное соединение;
- экранирование токоведущих элементов сварочного контура с сохранением максимально возможного рабочего пространства;
- применение индивидуальных экранирующих средств;
- мониторинг магнитной обстановки на рабочем месте самим сварщиком с помощью сигнализатора уровня магнитного поля.

Экранирование сварочного оборудования и сварщика

При работе в «ручном» режиме стационарные экраны, кроме своего функционального назначения, должны обеспечивать выполнение двух наиболее важных требований: не искажать характер технологического процесса и не снижать существенно производительность труда. Важно обеспечить первое требование, чтобы не изменить электрические параметры вторичного контура трансформатора, сварочного контура внесением дополнительного сопротивления, что ведет к ограничению максимальной величины сварочного тока в нем и соответственно к изменению режима сварки. Высокая производительность труда

фактически будет обеспечиваться свободным доступом к месту сварки, сохранением необходимых размеров рабочего объема для выполнения технологического процесса (установки и снятия деталей), предотвращением дополнительных операций на перемещение защитного экрана.

С конструктивной и технико-экономической точки зрения наиболее приемлемым материалом при изготовлении экранов для сварочного оборудования являются ферромагнитные материалы (электротехническая сталь, углеродистая сталь). Специфика работы сварочного оборудования и особенности конструктивного выполнения рабочих электродов и токоподводящих шин не позволяет применять наиболее эффективные замкнутые электромагнитные экраны, однако представляется возможным устанавливать полузамкнутые экраны. Данные экраны менее эффективны, чем замкнутые.

Снижение напряженности МП, создаваемых рабочими элементами и токоподводящими шинами точечных стационарных машин, может быть достигнуто с помощью экранирующих устройств (цилиндр, замкнутый экран, магнитный шунт), эффективность которых составляет 2...30 раз. Под эффективностью экранирования понимают отношение напряженности (максимальной величины) на рабочем месте H_m при отсутствии экрана к напряженности в той же точке рабочего места при наличии экрана:

$$H_{мэ} \cdot \mathcal{E}_э = H_m / H_{мэ}. \quad (3)$$

Для расчета $\mathcal{E}_э$ используют величину H_m , измеряемую на рабочем месте сварщика при непрерывной работе трансформатора и допустимом токе:

$$I_{200л} = I_{2н} \sqrt{\frac{ПВ}{100}}, \quad (4)$$

где $I_{2н}$ – номинальный сварочный ток (А); $ПВ$ – продолжительность включения (%).

Оценка $\mathcal{E}_э$ по выражению (3) является вполне приемлемой, хотя интегральная эффективность экранирования импульсных МП по аналогии с выражением (2) и в соответствии с требованиями [2] определяется как

$$\mathcal{E}_э = \sum_n \frac{H_n^2}{H_{нПДУ}^2}, \quad (5)$$

где H_n – амплитудная напряженность гармонических составляющих сигнала МП по диапазонам частот (n), А/м; $H_{нПДУ}$ – предельно допустимый уровень МП гармонических составляющих сигнала МП, А/м.

Окончательная проверка эффективности экранирования производится экспериментально с учетом спектрального состава МП по выражению (5). Конструктивно экраны, установленные на рабочие электроды и токоведущие шины, могут представлять собой параллелепипед или цилиндр, выполненный из углеродистой стали толщиной 2...3 мм.

Применение средств индивидуальной защиты (халаты с капюшонами, фартуки, накидки, куртки с брюками и др.), разработанных для сверхвысоких частот, в диапазоне низких частот практически теряет смысл, так как исчезает эффект отражения электромагнитных волн от материала с сетчатой или ячеистой структурой. Средства индивидуальной защиты (например, сплошной эластичный магнитный экран с высокой магнитной проницаемостью из аморфного магнитомягкого кобальтового сплава (CoFeCrSiB) в виде фартука сварщика [4], дополненного нарукавниками) могут оказаться полезными в определенных ситуациях при экранировании туловища в локальных МП средней напряженности (до 1500 А/м по основной гармонике) и должны рассматриваться как последнее средство обеспечения магнитной безопасности, потому как для их эффективной работы необходимо: предварительное снижение уровней МП до 1500 А/м; уменьшение времени установления магнитного потока в тонком экране граничной толщины (0,015 мм) путем увеличения крутизны фронта нарастания импульсов сварочного тока, что приводит к увеличению энергетической нагрузки МП в области кистей и головы сварщиков, при этом в области живота и груди сварщика эффективность экранирования может составить от 2 до 5 раз (см. рис. 2); обеспечение условий, которые исключают прикосновение к открытым токоведущим частям сварочного оборудования [2], поскольку основа эластичного экрана металлическая.

Полученные результаты исследований (рис. 3) показывают, что эффективность экранирования на разных расстояниях от электродов сварочной машины в зависимости от напряженности МП, формы его сигнала и конструкции экрана (количества слоев) сильно изменяется. Так, для однопачкового сигнала МП с 10-ти синусоидальных импульсов частотой 50 Гц на первой ступени регулирования сварочного трансформатора на расстоянии $L = 200$ мм и $L = 300$ мм эффективность экранирования составляет $E_{200} = 9,5/8 = 1,19$, $E_{300} = 3,6/1,0 = 3,6$ раз, только на расстоянии $L = 300$ мм ППУ МП не превышает допустимое значение. При сваривании же одной пачкой тока из 10-ти импульсов со срезанными вследствие фазового регулирования нагревания передними фронтами ($\alpha = 45^\circ$) эффективность экранирования резко увеличивается и для расстояний $L = 200$ мм и $L = 230$ мм составляет $E_{200} = 16,7/3,8 = 4,4$,

$E_{230} = 12,5/1,0 = 12,5$ раз, а с расстояния $L = 230$ мм не превышает регламентированных значений ППУ МП (однослойный экран). При этом в сравнении со сваркой полнофазным импульсом ППУ МП на расстоянии $L = 200$ мм уменьшается приблизительно в 2,5 раза, а на расстоянии $L = 300$ мм – в 9 раз.

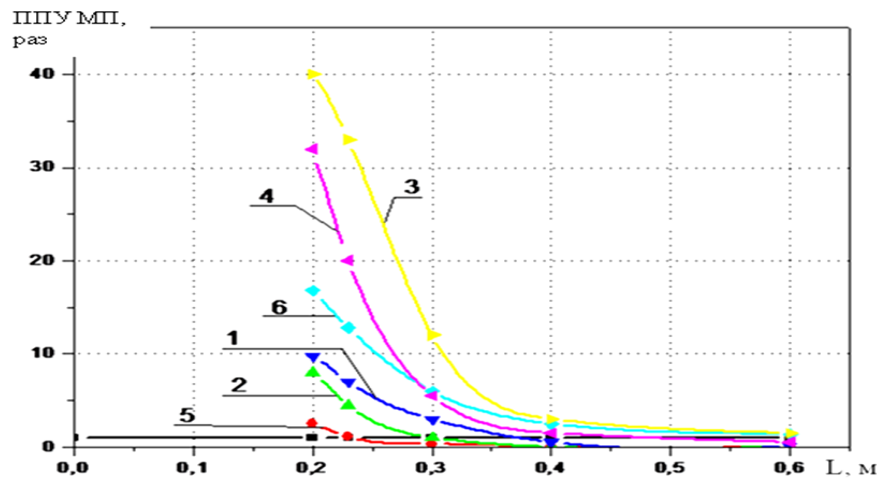


Рис. 3. Зависимость ППУ МП от расстояния до электродов машины точечной сварки МТ-2202 (характеристика тока та же, что и на рисунке 1) при экранировании туловища сварщика эластичным экраном в виде фартука [4]:
 1, 3 – для одной пачки импульсов сварочного тока на минимальной и максимальной мощности соответственно;
 2 – с эластичным экраном из двух сплошных незамкнутых слоев при сварке на минимальной мощности;
 4 – за эластичным однослойным незамкнутым экраном при сварке на максимальной мощности;
 5 – за эластичным однослойным экраном при сварке на минимальной мощности для одной пачки сварочного тока с фазовым регулированием нагрева $\alpha = 45^\circ$; 6 – то же, что и 5, но без экрана

С увеличением мощностей режимов сварки эффективность экранирования снижается, но существенным резервом ее повышения в этом случае является возможность увеличения количества слоев экранирующего материала (до 3-х), дополнительная термомагнитная обработка материала экрана, а также изменение формы сигнала исходного МП для снижения 3, 5 и 7-й гармоник в спектре экранированного МП. При этом адаптация формы сигнала МП (режима сварки) к магнитным свойствам эластичного экрана позволяет выровнять ППУ МП на защищенное тело сварщика. При этом относительно небольшое увеличение ППУ МП вследствие изменения формы сигнала МП можно компенсировать экранированием отдельных элементов сварочного контура машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц. – М., 1986. – № 3206-85. – С. 7.
2. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: ДСН 3.3.6.096-2002. – Киев: МОЗ. – 16 с.
3. Левченко, О.Г. Безопасный уровень напряженности электромагнитного поля при контактной сварке / О.Г. Левченко, В.К. Левчук // Автоматическая сварка. – 2008. – № 5. – С. 46 – 55.
4. Фартух электросварщика: пат. України UA50293 МПК G 12B 17/00 / Л.М. Лобанов, О.Г. Левченко, В.К. Левчук, О.М. Тимошенко, Г.Д. Потапенко; опубл. 25.05.2010. – Бюл. – № 10.

Поступила 28.12.2012

INFLUENCE OF THE MODE OF RESISTANCE SPOT WELDING ON THE LEVEL OF MAGNETIC FIELD IN THE WORKING AREA OF A WELDER

O. LEVCHENKO, O. GONCHAROVA, V. LEVCYUK, A. DUDAN

Influence of the mode of resistance spot welding on the level of magnetic field (MF) in the working area of a welder is studied. Results of experimental research of the influence of the welding mode parameters, chosen by technologists, and of distance from current-carrying elements of welding circuit on the indicator of exceeding of the level of MF according to up-to-date medical requirements are presented. Recommendations on protection of welders from MF for developers of resistance spot welding machines, technologists and users of these machines are proposed. Results of research of protective properties of screening materials from soft magnetic bands from amorphous alloy on the basis of cobalt are presented. An apron for welders for protection from E-field radiation is developed.